

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-299779

(43)公開日 平成5年(1993)11月12日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01S 3/18				
H01L 27/15		8934-4M		
31/10		8422-4M	H01L 31/10	A

審査請求 未請求 請求項の数3(全9頁)

(21)出願番号 特願平4-103065

(22)出願日 平成4年(1992)4月22日

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 森 克己

長野県諏訪市大和3丁目3番5号セイコー

エプソン株式会社内

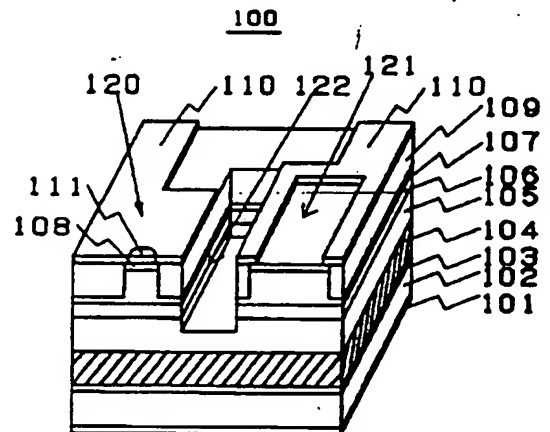
(74)代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54)【発明の名称】 面発光型半導体レーザ

(57)【要約】

【目的】信頼性が高く、高歩留まり、高特性なフォトダイオード内蔵型面発光半導体レーザを簡便に提供する。

【構成】半導体基板(102)に対して垂直な共振器を持つ半導体レーザにおいて、共振器が構成する発光部(120)と同一構造を持った検出部(121)を作成し、発光部と検出部の間をⅢ-Ⅴ族化合物半導体エピタキシャル層(109)で埋め込み、発光部(120)と検出部(121)の間を分離溝(122)で分離して構成する。出力レーザ光の反射光を検出部(121)の表面の一部を露出したところから検出部(121)内部に導入することにより、レーザ光強度を検出し、APC回路用のフォトダイオードを内蔵した面発光半導体レーザを構成する。



1. 05-299779, Nov. 12, 1993, SURFACE LIGHT EMITTING TYPE  
SEMICONDUCTOR LASER; KATSUMI MORI, HO1S 3/18; HO1L 27/15; HO1L 31/10

L2: 1 of 1

05-299779

ABSTRACT:

PURPOSE: To easily provide a surface light emitting type semiconductor laser incorporating a photodiode and having a superior reliability, a high yield and a superior characteristic.

CONSTITUTION: In a semiconductor laser having a resonator perpendicular to a semiconductor substrate 102, a detecting section 121 having the same structure as a light emitting section 120 that the resonator constitutes is produced. A II-VI compound semiconductor epitaxial layer 109 is buried in between the light emitting section and the detecting section, and the light emitting section 120 and the detecting section 121 are isolated from each other by an isolation trench 122. Reflected light of an output laser beam is introduced into the detecting section 121 from an exposed part of the surface of the detecting section 121, whereby the intensity of a laser beam is detected. Thus, a surface light emitting semiconductor laser that incorporates a photodiode used as an APC circuit is constituted.

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板に垂直な方向に光を出射するように当該半導体基板に垂直な方向に形成された共振器を有し、該共振器を形成する半導体層の少なくとも一層が柱状に形成されている面発光型の半導体レーザにおいて、

前記半導体基板の同一基板上に前記共振器の構造と同一であるフォトダイオードを形成し、前記フォトダイオードの表面の一部に電極を形成し、残りは表面を露出させ、前記共振器と前記フォトダイオードの間を分離溝で分離することを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項2】前記柱状の半導体層の周囲、及び前記フォトダイオード間は、IⅡ-VⅢ族化合物半導体エピタキシャル層で埋め込まれていることを特徴とする請求項1に記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項3】前記フォトダイオードの表面の一部に電極を形成し、残りの表面に誘電体層を形成することを特徴とする請求項1及び請求項2記載の面発光型半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、基板の垂直方向にレーザ光を発振する、面発光型の半導体レーザに関する。

## 【0002】

【従来の技術】基板の垂直方向に共振器を持つ面発光型の半導体レーザ（以下、「面発光半導体レーザ」と記す）としては、例えば、第50回応用物理学学会学術講演会の講演予稿集 第3分冊p. 909 29a-ZG-7 (1989年9月27日発行)に開示されたものが知られている。

【0003】かかる面発光半導体レーザでは、埋め込み層をp型AlGaAs層およびn型AlGaAs層からなるp-n接合層で構成している。これは、p型GaAs活性層以外の部分に電流が流れるのを防止するためである。

【0004】これに対して、本願出願人は、かかる埋め込み層を一層のIⅡ-VⅢ族化合物半導体エピタキシャル層のみによって形成した面発光半導体レーザを、既に提案している（特願平2-242000号）。かかる面発光半導体レーザは、埋め込み層の抵抗を大きくすることができるので十分な電流狭窄が得られること、円柱状領域との界面位置の整合が不要となること等の利点を有している。

【0005】この面発光半導体レーザは、図11に示したように、まず、(402)n型GaAs基板に(403)n型GaAsバッファ層、(404)分布反射型多層膜ミラー、(405)n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層、(406)p型GaAs活性層、(407)p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層および(408)p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asコンタクト層を順次成長させる。その後、(407)p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As

2

sクラッド層および(408)p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asコンタクト層を円柱状の領域を残して垂直にエッチングし、さらに、この円柱状領域の周囲に(409)ZnSe<sub>0.98</sub>Se<sub>0.02</sub>を形成して埋め込み、しかる後に、(408)p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asコンタクト層の上面、円柱径よりもやや小さい領域に(411)誘電体多層膜ミラーを蒸着し、最後に(410)p型オーミック電極、(401)n型オーミック電極を形成することにより構成されている。

## 【0006】

10 【発明が解決しようとする課題】かかる面発光半導体レーザにおいて、光出力の制御を図るためには、半導体レーザの出力光強度を検出し、駆動電流を制御するオートパワーコントロール（以下APCと記す。）回路を構成することが望ましい。従来の方法では、半導体レーザを有するチップとフォトダイオードを有するチップは異なっており、この2つのチップを1つのパッケージに実装し、半導体レーザの出力光の戻り光や出力光の一部をフォトダイオードで検出してAPC回路を構成していた。

20 【0007】面発光半導体レーザは、図11に示す様に基板に垂直な1方向のみにレーザ光を出射する。従って、従来の端面出射型半導体レーザのように2方向にレーザ光を出射して、1方を必要とするレーザ光として使用し、他方のレーザ光をモニタ用を使用するといった方法を使用することができない。従って、面発光半導体レーザでは、レーザチップとは別に実装するフォトダイオードで、レーザ出射光の一部を取り出して出力を検出している。

30 【0008】しかしながら、本発明者の検討によれば、前記のような方法を用いると、以下のような課題を生じる。

【0009】①面発光半導体レーザを構成する半導体チップと光量モニタ用フォトダイオードを構成する半導体チップは、別々に1つのパッケージに実装しなければならない。従って、実装工程の歩留まりや個々の精度調整、特性チェックなどが全体の歩留まりや特性を悪化させ、製造コストが増加する。

40 【0010】②面発光半導体レーザチップとフォトダイオードチップを別々に実装して、1素子を構成するため、1素子を小さくする事ができない。また、面発光半導体レーザの特徴である自由な2次元配列が可能といった特徴が、フォトダイオードを別に実装しなければならない事から大きく制約を受けることになる。

【0011】本発明はこのような課題を解決するもので、その目的とするところは、簡便な製造方法で、信頼性が高く、且つ、特性が良く、高歩留まりな、面発光半導体レーザの特徴を損なわない、出力光を検出する構造を有する半導体レーザを提供することにある。

## 【0012】

50 【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザは、半導体基板に垂直な方向に光を出射するように当該

半導体基板に垂直な方向に形成された共振器を有し、該共振器を形成する半導体層の少なくとも一層が柱状に形成されている面発光型の半導体レーザにおいて、前記半導体基板の同一基板上に前記共振器の構造と同一であるフォトダイオードを形成し、前記フォトダイオードの表面の一部に電極を形成し、残りは表面を露出させ、前記共振器と前記フォトダイオードの間を分離溝で分離することを特徴とする。

【0013】前記柱状の半導体層の周囲、及び前記フォトダイオード間は、II-VI族化合物半導体エピタキシャル層で埋め込まれていることを特徴とする。

【0014】また、前記フォトダイオードの表面の一部に電極を形成し、残りの表面に誘電体層を形成することを特徴とする。

【0015】

【作用】上述の構成によれば、面発光半導体レーザとフォトダイオードを同一基板上に作製することにより、面発光半導体レーザの出力光の反射光、例えば面発光型半導体レーザパッケージの出射窓のガラスの内側で反射される光、をフォトダイオード表面の露出した部分からフォトダイオード内部に導入でき、光量を検出することが可能となり、また、共振器からなる発光部とフォトダイオードからなる検出部の間を分離溝で分離することにより、発光部からの基板水平方向への漏れ光が検出部に達することがなくなり、面発光半導体レーザの出力レーザ光を直接測定、制御することが可能となる。

【0016】また、フォトダイオードは特別な構造を必要としなく、面発光半導体レーザの共振器と同一な構造を持つ素子を逆バイアス駆動することにより、半導体レーザ構造がそのままフォトダイオード構造として使用できる。従って、フォトダイオード作製のために特別なプロセスなどを必要とせず、同一基板上に、面発光レーザを高密度に、歩留まり高く作製可能となる。

【0017】柱状半導体層の周囲やフォトダイオードとの間をII-VI族化合物半導体エピタキシャル層で埋め込むと、高抵抗の埋め込み層への電流の流れが生じず、簡単に面発光半導体レーザとフォトダイオードの電気的素子分離が可能となる。

【0018】さらに、フォトダイオード表面の露出した部分に反射率を低下させる誘電体層を形成することにより、検出感度を向上させることができる。

【0019】

【実施例】以下、本発明の実施例について、図面を用いて説明する。

【0020】(実施例1) 図1は本発明の第1の実施例における半導体レーザ(100)の発光部及び検出部断面を示す斜視図であり、また、図2(a)~(f)は当該実施例における半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【0021】以下、本実施例に係わる半導体レーザ

0)の構成および製造工程について、図2(a)~(f)にしたがって説明する。

【0022】①まず、(102)n型GaAs基板上に、(103)n型GaAsバッファ層を形成し、さらに、n型 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ 層とn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層からなり波長870nm付近の光に対し98%以上の反射率を持つ30ペアの(104)分布反射型多層膜ミラーを形成する。続いて、(105)n型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層、(106)p型GaAs活性層、(107)p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層、(108)p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ コンタクト層を、順次、MOCVD法でエピタキシャル成長させる(図2(a))。このとき、本実施例では、成長温度を700℃とし、成長圧力を150 Torrとし、III族原料としてはTMGa(トリメチルガリウム)およびTMAI(トリメチルアルミニウム)の有機金属を、V族原料としてはAsH<sub>3</sub>を、n型ドーパントとしてはH<sub>2</sub>Seを、p型ドーパントとしてはDEZn(ジエチルジンク)を、それぞれ用いる。

【0023】②その後、熱CVD法によって、表面に(112)SiO<sub>2</sub>層を形成し、さらに、反応性イオンビームエッチング法(以下、「RIE法」と記す)により、(113)レジストで覆われた柱状の発光部及び柱状の検出部を残して、(107)p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層の途中まで、エッチングを行う(図2(b))。この際、本実施例では、エッチングガスとしては塩素とアルゴンの混合ガスを用いることとし、ガス圧を1×10<sup>-3</sup> Torrとし、引出し電圧を400Vとする。ここで、(107)p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層の途中までしかエッチングしないのは、活性層の水平方向の注入キャリアと光を閉じ込めるための構造を、リブ導波路型の屈折率導波構造とするためである。

【0024】③次に、この(107)p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層上に、埋め込み層を形成する。このために、本実施例では、まず、(113)レジストを取り除き、次に、MBE法或はMOCVD法などにより、(109)ZnSe<sub>0.06</sub>Se<sub>0.94</sub>層を埋め込み成長させる(図2(c))。

【0025】④次に、(112)SiO<sub>2</sub>層を除去し、続いて、(108)コンタクト層の表面に4ペアの(111)SiO<sub>2</sub>/α-Si誘電体多層膜ミラーを電子ビーム蒸着により形成し、反応性イオンエッチング法(以下、「RIE法」と記す)を用いたドライエッチングで、発光部の径よりやや小さい領域を残して取り去る(図2(d))。この誘電体多層膜ミラーの、波長870nmでの反射率は、94%である。

【0026】⑤さらに、(120)発光部と(121)検出部を分離する(122)分離溝を形成するために、再び(113)レジストをマスクにして、RIE法を用いて、(107)p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層の途中までエッチングを行なう(図2(e))。

【0027】⑤しかる後に、発光部における(111)誘電体多層膜ミラー以外の表面と検出部を形成する表面の一部に(110)p型オーミック電極を蒸着する。その際、発光部に接する電極と検出部に接する電極は独立に電流を供給できるように分離しておく。ここで検出部の表面の一部のみに電極を形成し、検出部の表面を露出したままにしておくのは、発光部から出射されたレーザ光の反射光を表面側から検出部内部に取り込むためである。さらに(102)n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As基板側に(101)n型オーミック電極を蒸着する(図2(f))。そして、最後

に、N<sub>2</sub>雰囲気中で、400℃のアロイングを行う。

【0028】以上の工程により、図1に示したような、リブ導波路構造の(120)発光部と発光部と同一の構造を持った(121)検出部を有する(100)面発光半導体レーザを得ることができる。

【0029】図3は、本実施例の面発光半導体レーザをパッケージに実装した際の一例を示した概略図である。

(120)発光部から出射された(123)レーザ光の一部は、(124)ガラスで反射され(121)検出部に導入される。

【0030】図4は、本実施例の面発光半導体レーザの発光部に対する駆動電流と発光出力の関係とその時検出部に流れる電流の関係を示す図である。室温において連続発振が達成され、しきい値電流も1mAと極めて低い値が得られた。また、検出部に流れる電流は、しきい値電流以下ではほとんど測定されず、発光部からの横方向の漏れ光の影響はない。しきい値電流以上ではレーザ発振が開始されるので、パッケージの出射窓のガラスの内側で反射されるレーザ光が検出部に入っていく、それにしたがって検出部に流れる電流も増加する。本実施例では、光出力1mWの時、検出部に流れる電流量は40μAと検出可能な大きさであったが、検出部を構成するpn接合に逆バイアスをかけることにより、検出感度を向上することができた。

【0031】(実施例2)図5は本発明の第2の実施例における半導体レーザ(200)の発光部及び検出部の断面を示す斜視図であり、また、図6(a)～(f)は当該実施例における半導体レーザ(200)製造工程を示す断面図である。

【0032】本実施例の半導体レーザ(200)は、発光部及び検出部とも(208)p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asコンタクト層から(205)n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層の一部までを柱状に形成した点で、上述の実施例1と異なる。

【0033】以下、本実施例の構成および製造工程について、図6(a)～(f)にしたがって説明する。

【0034】①まず、(202)n型GaAs基板上に、(203)n型GaAsバッファ層を形成し、さらに、n型AlAs層とn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As層からなり波長870nm付近の光に対し98%以上の反射率を持つ30ペアの(204)分布反射型多層膜ミラーを形成する。続いて、

(205)n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層、(206)p型GaAs活性層、(207)p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層、(208)p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asコンタクト層を、順次、MOCVD法でエピタキシャル成長させる(図6(a))。このとき、本実施例では、成長温度を700℃とし、成長圧力を150Torrとし、III族原料としてはTMGa(トリメチルガリウム)およびTMAI(トリメチルアルミニウム)の有機金属を、V族原料としてはAsH<sub>3</sub>を、n型ドーパントとしてはH<sub>2</sub>Seを、p型ドーパントとしてはDEZn(ジエチルジシジク)を、それぞれ用いる。

【0035】②その後、熱CVD法によって、表面に(212)SiO<sub>2</sub>層を形成し、さらに、RIBE法により、(213)レジストで覆われた柱状の発光部及び検出部を残して、(205)n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層の途中まで、エッチングを行う(図6(b))。この際、本実施例では、エッチングガスとしては塩素とアルゴンの混合ガスを用いることとし、ガス圧を1×10<sup>-3</sup>Torrとし、引出し電圧を400Vとする。

【0036】③次に、このエッチング領域上に、埋め込み層を形成する。このために、本実施例では、まず、(213)レジストを取り除き、次に、MBE法或はMOCVD法などにより、(209)ZnSe<sub>0.95</sub>Se<sub>0.05</sub>層を埋め込み成長させる(図6(c))。

【0037】④さらに、(212)SiO<sub>2</sub>層を除去し、続いて、(208)コンタクト層の表面に4ペアの(211)SiO<sub>2</sub>/α-Si誘電体多層膜ミラーを電子ビーム蒸着により形成し、RIE法を用いたドライエッチングで、発光部の径よりやや小さい領域を残して取り去る。この誘電体多層膜ミラーの、波長870nmでの反射率は、94%である。さらに、(221)検出部の表面の一部に(215)SiO<sub>2</sub>誘電体層を電子ビーム蒸着で形成し、検出部表面の反射率を波長870nmで10%以下になるように膜厚を制御する(図6(d))。

【0038】⑤さらに、(220)発光部と(221)検出部を分離する(222)分離溝を形成するために、再び(213)レジストをマスクにして、RIBE法を用いて(207)p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層の途中までエッチングを行なう(図6(e))。

【0039】⑥しかる後に、(211)誘電体多層膜ミラー及び(215)SiO<sub>2</sub>誘電体層以外の表面に(210)p型オーミック電極を蒸着する。その際、発光部に接する電極と検出部に接する電極は独立に電流を供給できるように分離しておく。さらに(202)n型GaAs基板側に(201)n型オーミック電極を蒸着する(図6(f))。そして、最後に、N<sub>2</sub>雰囲気中で、400℃のアロイングを行う。

【0040】以上の工程により、図5に示したような、埋め込み構造の(220)発光部と発光部と同一の構造を持った(221)検出部を有する(200)面発光半導体レーザを

得ることができる。

【0041】このようにして作成した本実施例の(200)面発光半導体レーザにおいても、上述した実施例1と同様、しきい値電流が1mAと極めて低く、また、検出部に流れる電流により、レーザ光出力を制御可能な面発光半導体レーザが得られた。

【0042】また、本実施例では、検出部表面に発振波長での反射率を10%以下にするように誘電体層を設けることにより、反射光を効率よく検出することが可能となり、検出部の感度を向上することができた。

【0043】実施例1、実施例2とも埋め込み層にIII-VI族化合物半導体である $Zn_{0.96}Se_{0.04}$ 層を用いることにより、その高抵抗性から、単層で発光部と検出部の電気的素子分離が可能となっている。

【0044】(実施例3)図7は本発明の第3の実施例における半導体レーザ(300)の発光部及び検出部の断面を示す斜視図であり、図8(a)～(f)及び図9

(a)は当該実施例における半導体レーザ(300)の製造工程を示す断面図である。

【0045】本実施例の半導体レーザ(300)は、(307)p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層を、互いに分離溝で分離された複数の柱状部で発光部を形成した点で、上述の実施例1および実施例2と異なる。

【0046】以下、本実施例の構成および製造工程について図8(a)～(f)及び図9(a)にしたがって説明する。

【0047】①まず、(302)n型GaAs基板上に、(303)n型GaAsバッファ層を形成し、さらに、n型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層とn型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 層からなり波長780nmを中心に±30nmの光に対して98%以上の反射率を持つ25ベアの(304)半導体多層膜ミラーを形成する。続いて、(305)n型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層、(306)p型 $Al_{0.13}Ga_{0.87}As$ 活性層、(307)p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層、(308)p型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ コンタクト層を順次MOCVD法でエピタキシャル成長させる(図8(a))。本実施例では、このときの成長条件を、成長温度を720℃、成長圧力150Torrとするとともに、III族原料にはTMGa(トリメチルガリウム)およびTMAI(トリメチルアルミニウム)の有機金属を、V族原料にはAsH<sub>3</sub>、n型ドーパントにH<sub>2</sub>Se、p型ドーパントにDEZn(ジエチルジンク)を、それぞれ用いる。

【0048】②次に、表面に常圧熱CVD法により(312)SiO<sub>2</sub>層を形成し、さらにその上にフォトリソグラフ工法を塗布、フォトリソグラフィ工程を施し、必要なパターンを作製する。その際、レジストパターンの側面が基板面に対して、垂直になるようなパターン作製条件で行ない、作製後は、側面のだれの原因となる温度加熱を行なわない。

【0049】その後、このパターンをマスクにして、CF<sub>4</sub>ガスをエッチングガスにした反応性イオンエッチング(RIE)を行い(312)SiO<sub>2</sub>層を除去する。その際、間隔の大きい発光部と検出部の間にある(312)SiO<sub>2</sub>層は完全に除去し、間隔の狭い発光部を形成する複数の柱状部の間の(312)SiO<sub>2</sub>層は残すようにエッチングを行なう。以上のようにして、必要なパターン形状を持ちながら、さらに基板に対して垂直な側面を持った(313)レジストと(312)SiO<sub>2</sub>層によるパターンが作成できる(図8(b))。

【0050】④続いて、この垂直な側面を持った(313)レジストをマスクにして、RIE法を用いて、柱状の発光部及び検出部を残してエッチングを行なう。この時、(312)SiO<sub>2</sub>層の存在の差で、発光部を形成する複数の柱状部の間は(307)p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層の途中まで、また発光部と検出部の間は(305)n型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層の一部までエッチングを行なう(図8(c))。この際、本実施例では、エッチングガスには塩素とアルゴンの混合ガスを用い、ガス圧力 $5 \times 10^{-4}$ Torr、プラズマ引出し電圧400V、エッチング試料上でのイオン電流密度 $400 \mu A/cm^2$ 、試料温度を20℃に保って行なうこととする。

【0051】ここで、発光部を(307)p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層の途中までしかエッチングしないのは、活性層の水平方向の注入キャリアと光の閉じ込めを、屈折率導波型のリブ導波路構造にして、活性層内の光の一部を活性層水平方向に伝達できるようにするためである。

【0052】また、レジストとして垂直な側面を持った(313)レジストを使用し、さらに、エッチング方法としてエッチング試料に対して垂直にイオンをビーム状に照射してエッチングを行なうRIE法を用いることにより、近接した(320)発光部を、基板に垂直な(314)分離溝で分離させることができるとともに、面発光型半導体レーザの特性向上に必要な垂直光共振器を作製することが可能となっている。

⑤次に、この(307)p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ クラッド層上に、埋め込み層を形成する。このために、本実施例では、まず、(313)レジストを取り除き、次に、MBE法あるいはMOCVD法などにより、(309) $Zn_{0.96}Se_{0.04}$ 層を埋め込み成長させる(図8(d))。

【0053】⑥さらに、(312)SiO<sub>2</sub>層とその上にできた多結晶状のZnSSeを除去し、続いて、表面に4ベアの(311)SiO<sub>2</sub>/α-Si誘電体多層膜反射鏡を電子ビーム蒸着により形成し、RIE法を用いたドライエッチングで、発光部の径よりやや小さい領域を残して取り去る。誘電体多層膜ミラーの波長780nmでの反射率は95%以上である。ここで、本実施例の(300)半導体レーザでは $Zn_{0.96}Se_{0.04}$ で埋め込んだ(314)分離溝上にも(311)誘電体多層膜ミラーを作成すること

としたので、発光部に挟まれた領域にも垂直共振器構造が形成され、したがって、(314)分離溝にもれた光も有効にレーザ発振に寄与し、また、漏れた光を利用するので(320)発光部の位相に同期した発光となる。

【0054】また、(321)検出部の表面の一部に(315)SiO<sub>2</sub>誘電体層を電子ビーム蒸着で形成し、検出部表面の反射率を波長870nmで10%以下になるように膜厚を制御する(図8(e))

⑤さらに、(320)発光部と(321)検出部を分離する(322)分離溝を形成するために、再び(313)レジストをマスクにして、RIBE法を用いて(307)p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asクラッド層の途中までエッチングを行なう(図8(f))。

【0055】⑥しかる後に、(311)誘電体多層膜ミラー及び(315)SiO<sub>2</sub>誘電体層以外の表面に(310)p型オーミック電極を蒸着する。その際、発光部に接する電極と検出部に接する電極は独立に電流を供給できるように分離しておく。さらに(302)n型GaAs基板側に(301)n型オーミック電極を蒸着する(図9(a))。そして、最後に、N<sub>2</sub>雰囲気中で、400℃のアロイングを行う。

【0056】以上のように、図7に示したような(320)発光部と(321)検出部を持った(300)面発光半導体レーザを得ることができる。

【0057】このようにして作成した本実施例の(300)面発光半導体レーザにおいても、上述した実施例1および実施例2と同様、発光部と同一の構造を持った検出部によって、レーザ出力光を検出可能となり、また検出部を構成するpn接合に逆バイアスをかけることにより、検出感度を向上することができた。

【0058】なお、上述の各実施例では、GaAlAs系面発光型半導体レーザについて説明したが、その他のIII-V族系の面発光型半導体レーザにも好適に適用でき、特に活性層はAlの組成を替えることで発振波長を変更することもできる。

【0059】また、本発明の面発光型半導体レーザの応用範囲は、プリンタ、複写機などの印刷装置のみならず、ファクシミリ、ディスプレイ、通信機器にても全く同様な効果を有することは言うまでもない。

【0060】本実施例の面発光型半導体レーザを用いて作製したオートパワーコントロール(APC)回路の概略図を図10に示す。

【0061】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、面発光半導体レーザを構成する半導体基板と同一な半導体基板上にフォトダイオードを形成することにより、レーザ出力光を直接検出し、制御できるAPC回路付面発光半導体レーザの作成が可能となった。

【0062】また、フォトダイオードの構造を面発光半導体レーザの構造と同一なものとするにより、フォ

トダイオードを内蔵するための特別な製造工程を用意しなくても良いので、信頼性が高く、高歩留まりな、面発光半導体レーザが簡単に作成できるようになった。

【0063】また、柱状半導体層の周囲やフォトダイオードとの間を高抵抗なIII-V族化合物半導体エピタキシャル層で埋め込むことにより、簡単に面発光半導体レーザとフォトダイオードの電気的素子分離が可能となった。

【0064】さらに、フォトダイオード表面の露出した部分に反射率を低下させる誘電体層を形成することにより、検出感度を向上させることができた。

【0065】特に半導体レーザを二次元的に高密度に集積させてアレイ化させる場合には、フォトダイオードの数を減らすことが可能になるので、本発明は非常に有益である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1に関わる面発光半導体レーザの断面を示す斜視図である。

【図2】 (a)～(f)ともに、実施例1に関わる面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図3】 実施例1に関わる面発光半導体レーザをパッケージに実装した際の一例を示した概略図である。

【図4】 実施例1に関わる面発光半導体レーザの駆動電流と発振光出力の関係とその際検出部に流れる電流の関係を示す図である。

【図5】 実施例2に関わる面発光半導体レーザの断面を示す斜視図である。

【図6】 (a)～(f)ともに、実施例2に関わる面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図7】 実施例3に関わる面発光半導体レーザを示す斜視図である。

【図8】 (a)～(f)ともに、実施例3に関わる面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図9】 (a)は、実施例3に関わる面発光半導体レーザの製造工程を示す断面図であり、図8(f)に引き続く図である。

【図10】 実施例の面発光型半導体レーザを用いて作製したオートパワーコントロール(APC)回路の概略図である。

【図11】 従来の半導体レーザの一例を示す斜視図である。

【符号の説明】

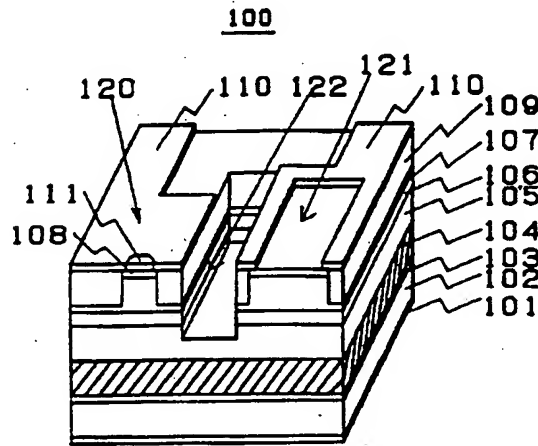
101, 201, 301, 401	n型オーミック電極
102, 202, 302, 402	n型GaAs基板
103, 203, 303, 403	n型GaAsバッファ層
104, 204, 304, 404	分布反射型多層膜ミラー
105, 205, 405	n型Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> Asク



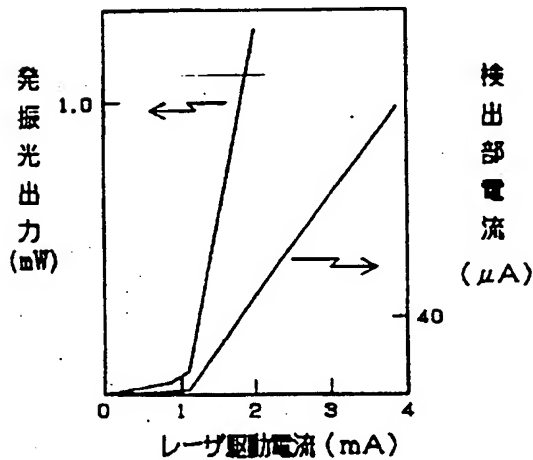
11

ラッド層  
 106, 206, 406 p型GaAs活性層  
 107, 207, 407 p型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ クラッド層  
 ラッド層  
 108, 208, 408 p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ コンタクト層  
 コンタクト層  
 109, 209, 309, 409  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$ 埋め込み層  
 110, 210, 310, 410 p型オーミック電極  
 111, 211, 311, 411 誘電体多層膜ミラー  
 112, 212, 312  $\text{SiO}_2$ 層

【図1】



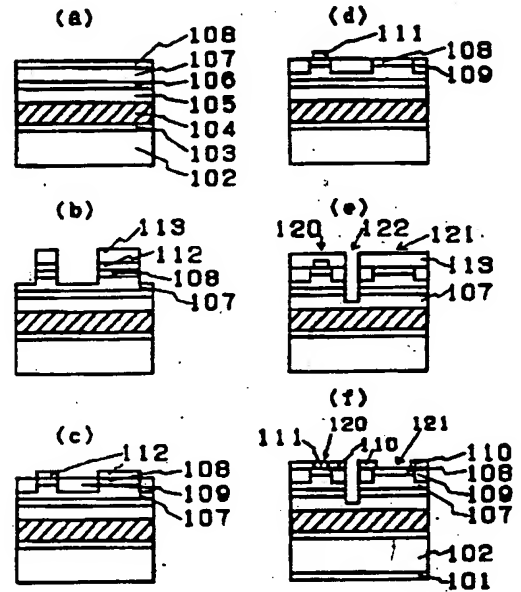
【図4】



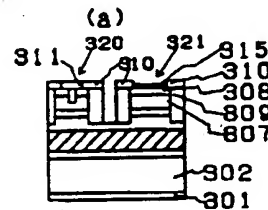
12

113, 213, 313 レジスト  
 215, 315  $\text{SiO}_2$ 誘電体層  
 314 分離溝  
 305 n型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ クラッド層  
 306 p型 $\text{Al}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}$ 活性層  
 307 p型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ クラッド層  
 308 p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ コンタクト層  
 120, 220, 320 発光部  
 121, 221, 321 検出部  
 122, 222, 322 分離溝  
 123 レーザ光  
 124 ガラス

【図2】

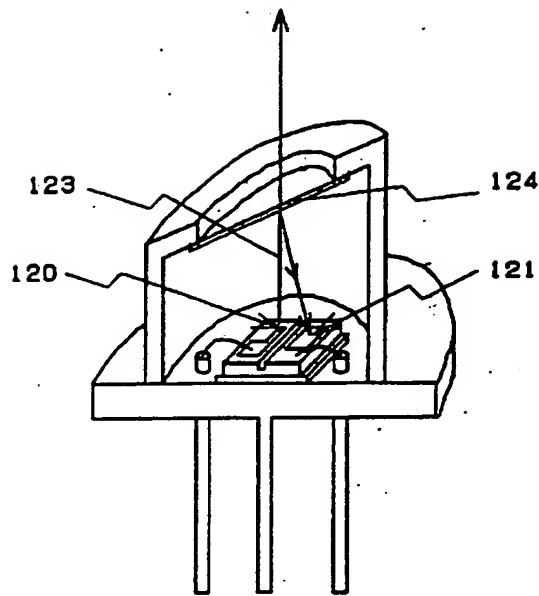


【図9】

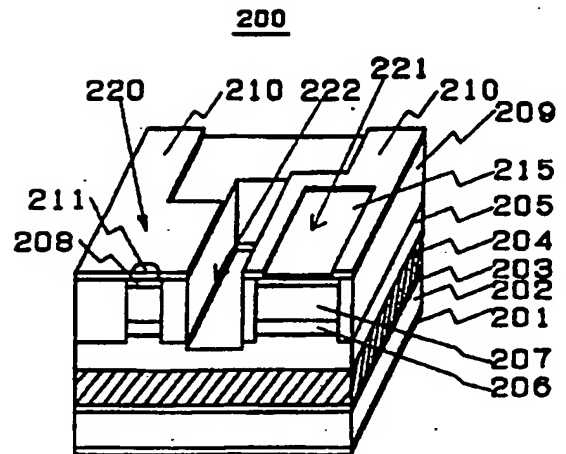




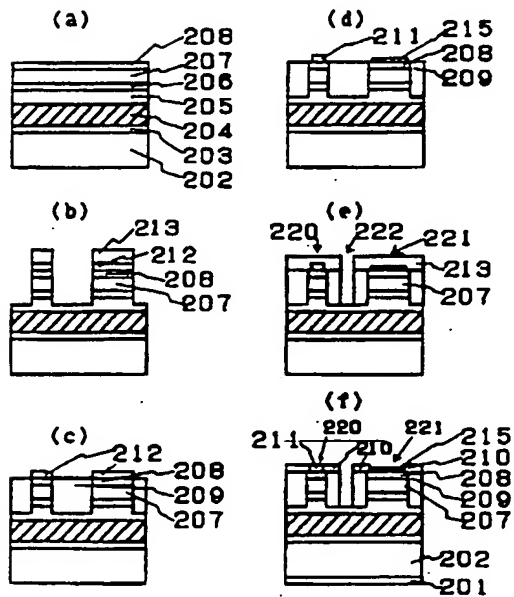
【図3】



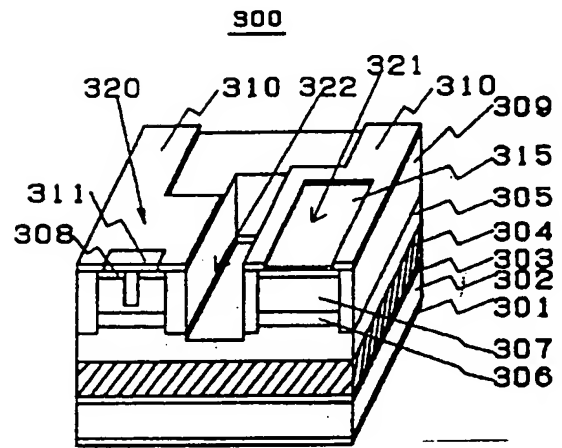
【図5】



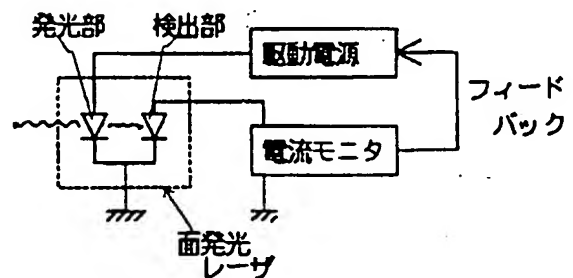
【図6】



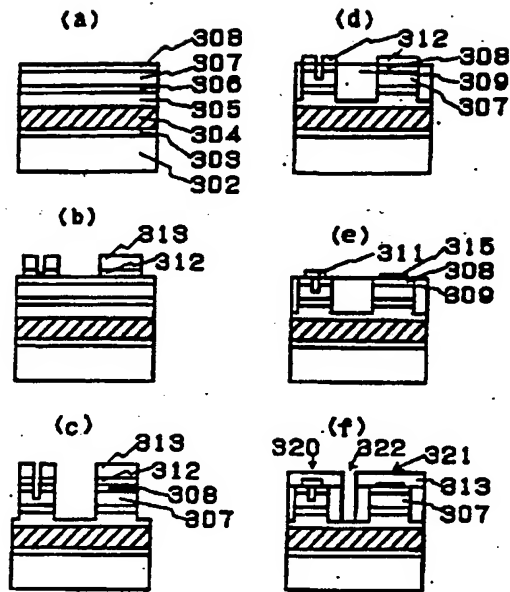
【図7】



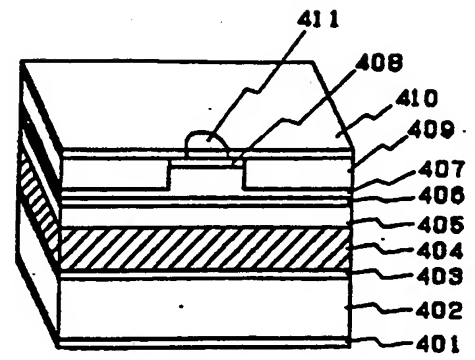
【図10】



【図8】



【図11】



Japanese Kokai Patent Application No. Hei 5[1993]-299779

SURFACE LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR LASER

Katsuki Mori

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
WASHINGTON, D.C. DECEMBER 1997  
TRANSLATED BY THE RALPH MCELROY TRANSLATION COMPANY

Code: PTO 98-0854

## JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT JOURNAL

KOKAI PATENT APPLICATION NO. HEI 5[1993]-299779

## Technical Disclosure Section

Int. Cl.<sup>5</sup>: H 01 S 3/18  
H 01 L 27/15  
31/10  
H 01 L 31/10

Sequence Nos. for Office Use: 8934-4M  
8422-4M

Application No.: Hei 4[1992]-103065

Application Date: April 22, 1992

Publication Date: November 12, 1993

No. of Claims: 3 (Total of 9 pages)

Examination Request: Not requested

SURFACE LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR LASER  
[MEN HAKKOKEI HANDOTAI REZA]

Inventor: Katsuki Mori

Applicant: Epson-Seiko Co., Ltd.

— [There are no amendments to this patent.]

Claims

1. A surface light-emitting semiconductor laser characterized by the fact that in a surface light-emitting semiconductor laser which has a resonator formed in the direction perpendicular to a semiconductor substrate so that a light is emitted in the direction perpendicular to said semiconductor substrate and in which at least one layer of the semiconductor layers that form said resonator is formed in a columnar shape, a photodiode with the same structure as that of the above-mentioned resonator is formed on the same substrate of the above-mentioned semiconductor substrate; that an electrode is formed on part of the surface of the above-mentioned photodiode; that the rest of the surface is exposed; that the above-mentioned resonator and the above-mentioned photodiode are separated by a separating groove.

2. The surface light-emitting semiconductor laser of Claim 1 characterized by the fact that an epitaxial layer of a group II-VI compound semiconductor is embedded between the circumference of the above-mentioned columnar semiconductor layer and the above-mentioned photodiode.

3. The surface light-emitting semiconductor laser of Claims 1 and 2 characterized by the fact that an electrode is formed on part of the surface of the above-mentioned photodiode and that a dielectric layer is formed on the rest of the surface.

---

\*Numbers in the right margin indicate pagination in the foreign text.

Detailed explanation of the invention

[0001]

Industrial application field

The present invention pertains to a surface light-emitting type semiconductor laser which oscillates a laser beam in the vertical direction of a substrate.

[0002]

Prior art

As a surface light-emitting type semiconductor laser having a resonator in the vertical direction of a substrate (hereinafter, described as a surface light-emitting semiconductor laser), for example, a semiconductor laser presented in the lecture preprints of the 50th Scientific Lecture Meeting of the Society of Applied Physics, No. 3, p.909, 29a-ZG-7 (issued on September 27, 1989) is known.

[0003]

In such a surface light-emitting type semiconductor laser, an embedding layer is constituted by a p-n junction layer composed of a p-type AlGaAs layer and a n-type AlGaAs layer. The reason for this is that a current is prevented from flowing to the parts other than the p-type GaAs active layer.

[0004]

On the contrary, this applicant has already proposed a surface light-emitting semiconductor laser in which such an embedding layer is formed only by an epitaxial layer of a group II-VI compound semiconductor of one layer (Japanese Patent Application No. Hei 2[1990]-242000). In such a surface light-emitting semiconductor laser, since the resistance of the embedding layer can be increased, a sufficient current can be strangulated, and matching of the interfacial position with a columnar area is not required.

[0005]

In the surface light-emitting semiconductor laser, as shown in Figure 11, first, on a n-type GaAs substrate (402), n-type GaAs buffer layer (403), distributed reflection-type multilayer film mirror (404), n-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (405), p-type GaAs active layer (406), p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (407), and p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer are sequentially deposited, and the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (407) and the p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer (408) are vertically etched while leaving a columnar area. Furthermore, a  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$  is formed and embedded around the columnar area, and a dielectric multilayer film mirror (411) is vapor-deposited on the area, which is slightly smaller than the columnar diameter, on the upper surface of the p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer (408). Finally, a p-type ohmic electrode (410) and a n-type ohmic electrode (401) are formed.



[0006]

Problems to be solved by the invention

In such a surface light-emitting semiconductor layer, in order to control a light output, it is desirable to constitute an auto power control (hereinafter, described as APC) which detects an output light intensity of the semiconductor laser and controls a driving current. In the conventional method, a chip having a semiconductor layer and a chip having a photodiode were different, and these two chips were mounted on one package. A return light of an output light of the semiconductor laser or part of the output light was detected by the photodiode. The APC circuit was constituted in this manner.

[0007]

The surface light-emitting semiconductor laser, as shown in Figure 11, emits a laser beam in only one direction perpendicular to a substrate. Therefore, a method, which emits laser beams in two direction, uses one laser beam as a required laser beam, and uses the other laser beam as a monitor like a conventional end face emitting type semiconductor laser, cannot be used. Therefore, in the surface light-emitting semiconductor laser, the laser chip is a separately mounted photodiode; extracts part of the laser beam, and detects the output.

[0008]

However, according to the review of the inventor, if the above-mentioned method is used, the following problems are caused.

[0009]

(1) The semiconductor chip constituting the surface light-emitting semiconductor laser and the semiconductor chip constituting the photodiode for monitoring the quantity of light must be separately mounted on one package. Therefore, the yield of the mounting process, individual precision adjustment, characteristic check, etc., deteriorate the total yield or the characteristics, so that the manufacturing cost is raised.

[0010]

(2) Since the surface light-emitting semiconductor laser chip and the photodiode chip are separately mounted and constitute one element, the element cannot be made small. Also, the enabling of a free two-dimensional array that is a characteristic feature of the surface light-emitting semiconductor laser is largely restricted, since the photodiode must be separately mounted.

[0011]

---

The present invention solves such problems, and its purpose is to provide a semiconductor laser with a structure which has

7  
high reliability, favorable characteristics, and high yield, does not damage the characteristics of a surface light-emitting semiconductor laser, and detects an output light, through a simple manufacturing method.

[0012]

Means to solve the problems

The surface light-emitting semiconductor laser of the present invention is characterized by the fact that in a face light-emitting semiconductor laser which has a resonator formed in the direction perpendicular to a semiconductor substrate so that a light is emitted in the direction perpendicular to said semiconductor substrate and in which at least one layer of the semiconductor layers that form said resonator is formed in a columnar shape, a photodiode with the same structure as that of the above-mentioned resonator is formed on the same substrate of the above-mentioned semiconductor substrate; that an electrode is formed on part of the surface of the above-mentioned photodiode; that the rest of the surface is exposed; that the above-mentioned resonator and the above-mentioned photodiode are separated by a separating groove. /3

[0013]

Also, it is characterized by the fact that an epitaxial layer of a group II-VI compound semiconductor is embedded between the circumference of the above-mentioned columnar semiconductor layer and the above-mentioned photodiode.

[0014]

8

Also, it is characterized by the fact that an electrode is formed on part of the surface of the above-mentioned photodiode and that a dielectric layer is formed on the rest of the surface.

[0015]

#### Function

According to the above-mentioned constitution, since the surface light-emitting semiconductor laser and the photodiode are manufactured on the same substrate, a reflected light of an output light of the surface light-emitting semiconductor laser, for example, a light being reflected at the inside of a glass of an outgoing window of a surface light-emitting type semiconductor laser package, can be introduced into the photodiode from the exposed part of the photodiode surface, and the quantity of light can be detected. Also, the semiconductor laser structure can be used as it is as a photodiode structure by driving an element with the same structure as that of the resonator of the surface light-emitting semiconductor laser in a backward bias fashion. Also, since the light-emitting part consisting of the resonator and the detecting part consisting of the photodiode can be separated by the separating groove, leaking light from the light-emitting part to the horizontal direction of the substrate cannot reach the detecting part, and the output laser beam of the surface light-emitting semiconductor laser can be directly measured and controlled.

[0016]

9

Also, the photodiode does not need a special structure, and the semiconductor laser structure can be used as it is as a photodiode structure by driving the element with the same structure as that of the resonator of the surface light-emitting semiconductor laser in a backward bias fashion. Therefore, special processes, etc., for manufacturing the photodiode are not required, and the surface light-emitting laser can be manufactured with high density and high yield on the same substrate.

[0017]

If an epitaxial layer of a group II-VI compound semiconductor is embedded between the circumference of the columnar semiconductor layer and the photodiode, a current leak to the high-resistance embedding layer is not caused, and an electric element separation of the surface light-emitting semiconductor laser and the photodiode is simply enabled.

[0018]

Furthermore, the detection sensitivity can be improved by forming a dielectric layer for lowering the reflectivity at the exposed part of the photodiode surface.

[0019]

#### Application examples

Next, the application examples of the present invention are explained using the figures.

[0020]

#### Application Example 1

Figure 1 is an oblique view showing a cross section of a light-emitting part and a detecting part of a semiconductor laser (100) in a first application example of the present invention. Also, Figures 2(a)-(f) are cross sections showing a process for manufacturing the semiconductor laser in said application example.

[0021]

Next, the constitution and the manufacturing process of the semiconductor laser (100) of this application example are explained according to Figures 2(a)-(f).

[0022]

(1) First, a n-type GaAs buffer layer (103) is formed on a n-type GaAs substrate (102), and 30 pairs of distributed reflection-type multilayer film mirrors (104), which have a reflectivity of 98% or more to a light in the vicinity of a wavelength of 870 nm and are composed of a n-type  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$

layer and a n-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  layer, are formed. Then, n-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (105), p-type GaAs active layer (106), p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (107), and p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer (108) are sequentially epitaxially deposited by a MOCVD method (Figure 2(a)). At that time, in this application example, the deposition temperature is  $700^{\circ}\text{C}$  and the deposition pressure is 150 torr. As a group III raw material, an organic metal of TMGa (trimethyl gallium) and TMAI (trimethyl aluminum) is used, and as a V group raw material,  $\text{AsH}_3$  is used. As a n-type dopant,  $\text{H}_2\text{Se}$  is used, and a p-type dopant, DEZn (diethyl zinc) is used.

[0023]

(2) Next, a  $\text{SiO}_2$  layer (112) is formed on the surface by a thermal CVD method. Furthermore, the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (107) is etched up to its halfway by a reaction ion-beam etching method (hereinafter, described as "a RIBE method") while leaving the columnar light-emitting part and the columnar detecting part covered with a resist (113) (Figure 2(b)). At that time, in this application example, as an etching gas, a mixed gas of chlorine and argon is used. The gas pressure is  $1 \times 10^{-3}$  torr, and the leading voltage is 400 V. Here, the reason why the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (107) is etched up to its halfway is that the structure for confining an injecting carrier and a light in the horizontal direction of the active layer is a rib waveguide type refractive index waveguide structure.



[0024]

(3) Next, an embedding layer is formed on the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (107). For this reason, in this application example, first, the resist (113) is removed, and a  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$  layer (109) is embedded and deposited by a MBE method or MOCVD method (Figure 2(c)).

[0025]

(4) Next, the  $\text{SiO}_2$  layer (112) is removed, and four pairs of  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  dielectric multilayer film mirrors (111) are formed on the surface of the contact layer (108) by an electron-beam vapor deposition and removed by a dry etching using a reactive ion etching method (hereinafter, described as "a RIE method") while leaving the area slightly smaller than the diameter of the light-emitting part (Figure 2(d)). The reflectivity of the dielectric multilayer film mirror at a wavelength of 870 nm is 94%.

[0026]

(5) Furthermore, in order to form a separating groove (122) for separating a light-emitting part (120) and a detecting part (121), the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (107) is re-etched up to its halfway by the RIBE method using the resist (113) as a mask (Figure 2(e)).

[0027]

(6) Next, on the surface other than the dielectric multilayer /4 mirror (111) in the light-emitting part and on part of the surface for forming the detecting part, a p-type ohmic electrode (110) is vapor-deposited. At that time, an electrode in contact with the light-emitting part and an electrode in contact with the detecting part are separated so that they can be independently provided with current. Here, the reason why the electrode is formed on only part of the surface of the detecting part and the surface of the detecting part is exposed is that the reflected light of the laser beam emitted from the light-emitting part is introduced into the detecting part from the surface side. Furthermore, a n-type ohmic electrode (101) is vapor-deposited on the n-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  substrate (102) (Figure 2(f)). Then, finally, alloying at  $400^{\circ}\text{C}$  is carried out in a  $\text{N}_2$  atmosphere.

[0028]

With the above process, the surface light-emitting semiconductor laser (100) having the light-emitting part (120) with a rib waveguide structure and the detecting part (121) with the same structure as that of the light-emitting part as shown in Figure 1 can be obtained.

[0029]

Figure 3 is an outline diagram showing an example in case the surface light-emitting semiconductor laser of this application example is mounted in the package. Part of a laser

beam (123) emitted from the light-emitting part (120) is reflected by a glass (124) and introduced into the detecting part (121).

[0030]

Figure 4 shows a relationship between the driving current and the oscillating light output for the light-emitting part of the surface light-emitting semiconductor laser of this application example and a relationship of the current flowing to the detecting part at that time. A continuous oscillation was achieved at room temperature, and the threshold current was as low as 1 mA. Also, the current flowing to the detecting part is seldom measured at less than the threshold current, and there is no influence of leaking light in the horizontal direction from the light-emitting part. Since the laser oscillation is started at more than the threshold current, the laser beam being reflected at the inside of the glass of the outgoing window of the package enters the detecting part, and the current flowing to the detecting part is also increased. In this application example, at a light output of 1 mW, the amount of current flowing to the detecting part was 40  $\mu$ A, which could be detected, however the detection sensitivity could be improved by applying a backward bias to the pn junction constituting the detecting part.

[0031]

#### Application Example 2

Figure 5 is an oblique view showing a cross section of the light-emitting part and the detecting part of a semiconductor

laser (200) in a second application example of the present invention. Also, Figures 6(a)-(f) are cross sections showing a process for manufacturing the semiconductor laser (200) in said application example.

[0032]

The semiconductor laser (200) of this application example is different from that of the above-mentioned Application Example 2 in that both the light-emitting part and the detecting part are formed in a columnar shape from a p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer (208) to part of a n-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (205).

[0033]

Next, the constitution and the manufacturing process of this application example are explained according to Figures 6(a)-(f).

[0034]

(1) First, a n-type GaAs buffer layer (203) is formed on a n-type GaAs substrate (202), and 30 pairs of distributed reflection-type multilayer film mirrors (204), which have a reflectivity of 98% or more to a light in the vicinity of a wavelength of 870 nm and are composed of a n-type AlAs layer and a n-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  layer, are formed. Then, n-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (205), p-type GaAs active layer (206), p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (207), and p-type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  contact layer (208) are sequentially epitaxially deposited by the MOCVD method (Figure 6(a)). At that time, in this application example, the deposition temperature is 700°C, and the deposition pressure is

150 torr. As a group III raw material, an organic metal of TMGa (trimethyl gallium) and TMAI (trimethyl aluminum) is used, and as a group V raw material, AsH<sub>3</sub> is used. As a n-type dopant, H<sub>2</sub>Se is used, and a p-type dopant, DEZn (diethyl zinc) is used.

[0035]

(2) Next, a SiO<sub>2</sub> layer (212) is formed on the surface by the thermal CVD method. Furthermore, the n-type Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As clad layer (205) is etched halfway by the RIBE method while leaving the columnar light-emitting part and detecting part covered with a resist (213) (Figure 6(b)). At that time, in this application example, as an etching gas, a mixed gas of chlorine and argon is used. The gas pressure is  $1 \times 10^{-3}$  torr, and the leading voltage is 400 V.

[0036]

(3) Next, an embedding layer is formed on the etched area. For this reason, in this application example, first, the resist (213) is removed, and a ZnS<sub>0.06</sub>Se<sub>0.94</sub> layer (209) is embedded and deposited by the MBE method or MOCVD method (Figure 6(c)).

[0037]

(4) Next, the SiO<sub>2</sub> layer (212) is removed, and four pairs of SiO<sub>2</sub>/α-Si dielectric multilayer film mirrors (211) are formed on the surface of the contact layer (208) by electron-beam vapor deposition and removed by a dry etching using the RIE method while leaving the area slightly smaller than the diameter of the

light-emitting part. The reflectivity of the dielectric multilayer film mirror at a wavelength of 870 nm is 94%. Furthermore, a  $\text{SiO}_2$  dielectric layer (215) is formed on part of the surface of a detecting part (221) by electron-beam vapor deposition, and the film thickness is controlled so that the reflectivity rate of the detecting part surface can be 10% or less at a wavelength of 870 nm (Figure 6(d)).

[0038]

(5) Furthermore, in order to form a separating groove (222) for separating a light-emitting part (220) and the detecting part (221), the p-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer (207) is re-etched halfway by the RIBE method using the resist (213) as a mask (Figure 6(e)).

[0039]

(6) Next, on the surface other than the dielectric multilayer mirror (211) and the  $\text{SiO}_2$  dielectric layer (215), a p-type ohmic electrode (210) is vapor-deposited. At that time, an electrode in contact with the light-emitting part and an electrode in contact with the detecting part are separated so that they can be independently provided with current. Furthermore, a n-type ohmic electrode (201) is vapor-deposited on the n-type GaAs substrate (202) (Figure 6(f)). Then, finally, alloying at 400°C is carried out in a  $\text{N}_2$  atmosphere.

[0040]

With the above process, the surface light-emitting semiconductor laser (200) having the light-emitting part (220) with an embedded structure and the detecting part (221) with the same structure as that of the light-emitting part as shown in Figure 5 can be obtained.

/5

[0041]

In the surface light-emitting semiconductor laser (200) of this application example prepared in this manner, similarly to the above-mentioned Application Example 1, the threshold current was as low as 1 mA, and the surface light-emitting semiconductor laser, which can control the laser beam output by the current flowing to the detecting part, was obtained.

[0042]

Also, in this application example, the reflected light could be detected with favorable efficiency by installing the dielectric layer on the detecting part surface so that the reflectivity at an oscillation wavelength could be 10% or less. Thus, the detection sensitivity could be improved.

[0043]

In Application Examples 1 and 2, the  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$  layer, which is a group II-VI compound semiconductor, is used as the embedding layer, so that an electric element separation of the



light-emitting part and the detecting part is enabled by a monolayer in terms of high resistance.

[0044]

### Application Example 3

Figure 7 is an oblique view showing a cross section of the light-emitting part and the detecting part of a semiconductor laser (300) in a third application example of the present invention. Figures 8(a)-(f) and Figure 9(a) are cross sections showing a process for manufacturing the semiconductor laser (300) in said application example.

[0045]

The semiconductor laser (300) of this application example is different from that of the above-mentioned Application Examples 1 and 2 in that a p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307) forms the light-emitting part by several columnar parts which are mutually separated by separating grooves.

[0046]

Next, the constitution and the manufacturing process of this application example are explained according to Figures 8(a)-(f) and Figure 9(a).

[0047]

(1) First, a n-type GaAs buffer layer (303) is formed on a n-type GaAs substrate (302), and 25 pairs of semiconductor multilayer film mirrors (304), which have a reflectivity of 98% or more to a light of  $\pm 30$  nm centering around a wavelength of 780 nm and are composed of a n-type  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$  layer and a n-type  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  layer, are formed. Then, n-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (305), p-type  $\text{Al}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}$  active layer (306), p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307), and p-type  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$  contact layer (308) are sequentially epitaxially deposited by the MOCVD method. (Figure 8(a)). In this application example, as the deposition conditions at that time, the deposition temperature is  $720^{\circ}\text{C}$  and the deposition pressure is 150 torr. As a group III raw material, an organic metal of TMGa (trimethyl gallium) and TMAI (trimethyl aluminum) is used, and as a group V raw material,  $\text{AsH}_3$  is used. As a n-type dopant,  $\text{H}_2\text{Se}$  is used, and a p-type dopant, DEZn (diethyl zinc) is used.

[0048]

(2) Next, a  $\text{SiO}_2$  layer (312) is formed on the surface by a normal-pressure thermal CVD method. Furthermore, a photoresist is spread on it and subjected to a photolithography process, so that the required pattern is prepared. At that time, the state in which the side surface of the resist pattern is perpendicular to the substrate surface is adopted. After the preparation, heating is not carried out at a temperature at which the side surface is dragged.

[0049]

(3) Next, the  $\text{SiO}_2$  layer (312) is removed by the reaction ion etching (RIE) using the pattern as a mask and a  $\text{CF}_4$  gas as an etching gas. At that time, the  $\text{SiO}_2$  layer between the light-emitting part and the detecting part having a large gap is completely removed and etched while leaving the  $\text{SiO}_2$  layer (312) between several columnar parts for forming the light-emitting part having a narrow gap. Thus, a resist (313) having a side surface perpendicular to the substrate and a pattern composed of the  $\text{SiO}_2$  layer (312) can be prepared while holding a required pattern shape (Figure 8(b)).

[0050]

(4) Next, etching is carried out by the RIBE method using the resist (313) having the vertical side surface as a mask while leaving the columnar light-emitting part and detecting part. At that time, etching is carried out halfway on the p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307) between several columnar parts for forming the light-emitting part and up to the part of the n-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer between the light-emitting part and the detecting part (Figure 8(c)) by the difference of existence of the  $\text{SiO}_2$  layer (312). At that time, in this application example, as an etching gas, a mixed gas of chlorine and argon is used, and the gas pressure is  $5 \times 10^{-4}$  torr. The plasma leading voltage is 400 V. The ion current density on the etching sample is 400  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , and the sample temperature is held at  $20^\circ\text{C}$ .

[0051]

Here, the reason why the p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307) is etched up to its halfway is that the an injecting carrier and a light in the horizontal direction of the active layer are confined by a rib waveguide type refractive index waveguide structure, so that part of the light in the active layer can be transferred in the horizontal direction of the active layer.

[0052]

Also, using the resist (313) having a vertical side surface as a resist and using the RIBE method for etching by irradiating ions in a beam shape perpendicularly to the etching sample as an etching method, the adjacent light-emitting part (320) can be separated by the separating groove (314) perpendicular to the substrate. At the same time, a vertical light resonator required to improve the characteristics of the surface light-emitting type semiconductor laser can be manufactured.

(5) Next, an embedding layer is formed on the p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307). For this reason, in this application example, first, the resist (313) is removed, and a  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$  layer (309) is embedded and deposited by the MBE method or MOCVD method (Figure 8(d)).

[0053]

— (6) Next, the  $\text{SiO}_2$  layer (312) is removed, and a polycrystalline  $\text{ZnSSe}$  [layer] formed on it is removed. Then, four pairs of  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  dielectric multilayer film reflecting mirrors

(311) are formed on the surface by electron-beam vapor deposition and removed by dry etching using the RIE method while leaving the area slightly smaller than the diameter of the light-emitting part. The reflectivity of the dielectric multilayer film mirror at a wavelength of 780 nm is 95% or more. Here, in the semiconductor laser (300) of this application example, since the dielectric multilayer film mirror is also prepared on the separating groove (314) embedded by the  $\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$ , a vertical resonator structure is also formed in the area sandwiched by the light-emitting part. Therefore, the light leaked to the separating groove (314) also contributes effectively to the laser oscillation, and since the leaked light is utilized, the light synchronous with the phase of the light-emitting part (320) is emitted. /6

[0054]

Also, the  $\text{SiO}_2$  dielectric layer\* (315) is formed on part of the surface of the detecting part (321) by electron-beam vapor deposition, and the film thickness is controlled so that the reflectivity of the detecting part surface can be 10% or less at a wavelength of 870 nm (Figure 8(e)).

(5) Furthermore, in order to form a separating groove (322) for separating the light-emitting part (320) and the detecting part (321), the p-type  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  clad layer (307) is re-etched halfway by the RIBE method using the resist (313) as a mask (Figure 8(f)).

[0055]

(6) Next, on the surface other than the dielectric multilayer mirror (311) and the  $\text{SiO}_2$  dielectric layer (315), a p-type ohmic electrode (310) is vapor-deposited. At that time, an electrode in contact with the light-emitting part and an electrode in contact with the detecting part are separated so that they can be independently provided with current. Furthermore, a n-type ohmic electrode (301) is vapor-deposited on the n-type GaAs substrate (302) (Figure 9(a)). Then, finally, alloying at  $400^\circ\text{C}$  is carried out in a  $\text{N}_2$  atmosphere.

[0056]

Thus, the surface light-emitting semiconductor laser (300) having the light-emitting part (320) and the detecting part (321) is that of the light-emitting part as shown in Figure 7 can be obtained.

[0057]

In the surface light-emitting semiconductor laser (300) of this application example prepared in this manner, similarly to the above-mentioned Application Examples 1 and 2, a laser output beam could be detected by the detecting part with the same structure as that of the light-emitting part. Also, the detection sensitivity could be improved by applying a backward bias to the pn junction constituting the detecting part: —

[0058]

25

Also, in this application example, the GaAlAs system surface light-emitting semiconductor laser has been explained, however, other group III-V system surface light-emitting type semiconductor laser can also be appropriately applied. In particular, the active layer can also change the oscillation wavelength by replacing the composition of Al.

[0059]

Also, needless to say, the application range of the surface light-emitting of the present invention has the same effect in facsimiles, displays, and communication equipment as well as in printing devices such as printers and copy machines.

[0060]

Figure 10 shows an outline diagram showing an auto power control (APC) circuit manufactured using the surface light-emitting type semiconductor laser of this application example.

[0061]

Effect of the invention

As explained above in detail, according to the present invention, the surface light-emitting semiconductor laser with an APC circuit, which could directly detect and control a laser output beam, can be prepared by forming a photodiode on the same



semiconductor substrate as the semiconductor substrate constituting the surface light-emitting semiconductor laser.

[0062]

Also, with the same structure of the surface light-emitting semiconductor laser as the structure of the photodiode, since a special manufacturing process for housing the photodiode is not necessary, the surface light-emitting semiconductor laser with high reliability and high yield could be simply prepared.

[0063]

Also, an electric element separation of the surface light-emitting semiconductor laser and the photodiode is simply enabled by embedding an epitaxial layer of a high-resistance II-VI group compound semiconductor between the circumference of a columnar semiconductor layer and the photodiode.

[0064]

The detection precision could be improved by forming a dielectric layer for lowering the reflectivity on the exposed part of the photodiode surface.

[0065]

In particular, in the case the semiconductor laser is two-dimensionally integrated with high density and arrayed, since the number of photodiodes can be reduced, the present invention is very useful.

### Brief description of the figures

Figure 1 is an oblique view showing a cross section of the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 1.

Figures 2(a)-(f) are cross sections showing a process for manufacturing the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 1.

Figure 3 is an outlined diagram showing an example in case the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 1 is mounted in a package.

Figure 4 shows a relationship between the driving current and the oscillating light output of the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 1 and a relationship of the current flowing to the detecting part at that time.

Figure 5 is an oblique view showing a cross section of the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 2.

Figures 6(a)-(f) are cross sections showing a process for manufacturing the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 2.

Figure 7 is an oblique view showing a cross section of the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 3.

Figures 8(a)-(f) are cross sections showing a process for manufacturing the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 3.

Figure 9(a) is a cross section showing a process for manufacturing the surface light-emitting semiconductor laser of Application Example 3 and is a diagram subsequent to Figure 8(f).

Figure 10 shows an outlined diagram showing an auto power control (APC) circuit manufactured using the surface light-emitting type semiconductor laser of the application example.

Figure 11 is an oblique view showing an example of a conventional semiconductor laser.

101, 201, 301, 401	n-type ohmic electrodes
102, 202, 302, 402	n-type GaAs substrates
103, 203, 303, 403	n-type GaAs buffer layers
104, 204, 304, 404	Distributed reflection-type multilayer film mirrors
105, 205, 405	n-type $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ clad layers
106, 206, 406	p-type GaAs active layers
107, 207, 407	p-type $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ clad layers
108, 208, 408	p-type $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ contact layers
109, 209, 309, 409	$\text{ZnS}_{0.06}\text{Se}_{0.94}$ embedding layers
110, 210, 310, 410	p-type ohmic electrodes
111, 211, 311, 411	Dielectric multilayer film mirrors
112, 212, 312	$\text{SiO}_2$ layers
113, 213, 313	Resists
215, 315	$\text{SiO}_2$ dielectric layers
314	Separating groove
305	n-type $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ clad layer
306	p-type $\text{Al}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}$ active layer
307	p-type $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ clad layer
308	p-type $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ contact layer
120, 220, 320	Light-emitting parts
121, 221, 321	Detecting parts
122, 222, 322	Separating grooves
123	Laser beam

124

Glass

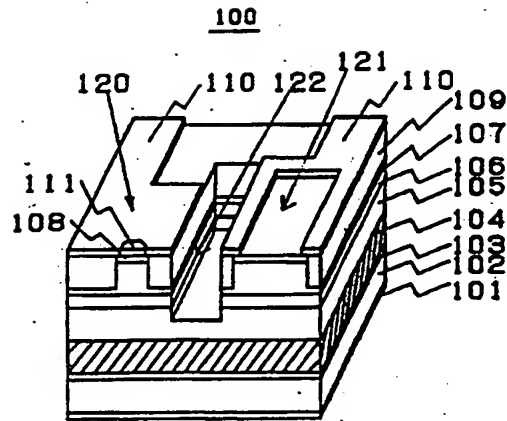


Figure 1

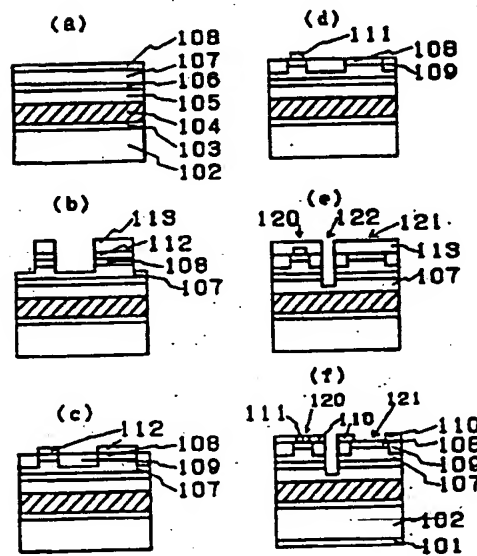


Figure 2

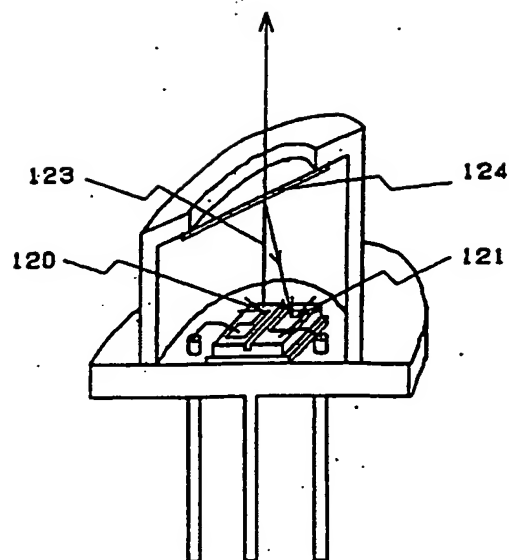


Figure 3

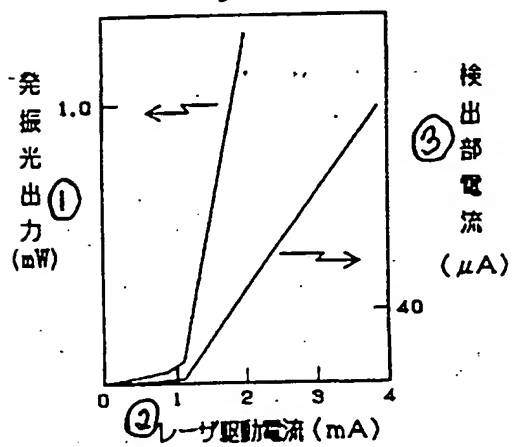


Figure 4

Key: 1 Oscillating light output (mW)  
 2 Laser driving current (mA)  
 — 3 Detecting part current ( $\mu$ A) —

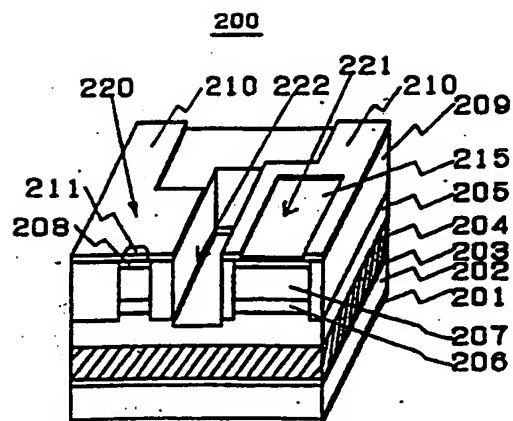


Figure 5

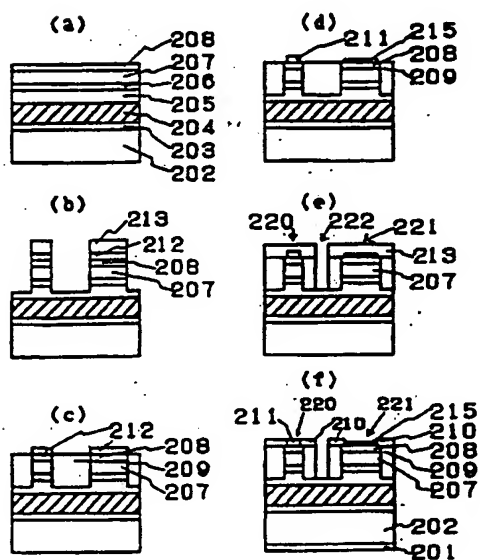


Figure 6

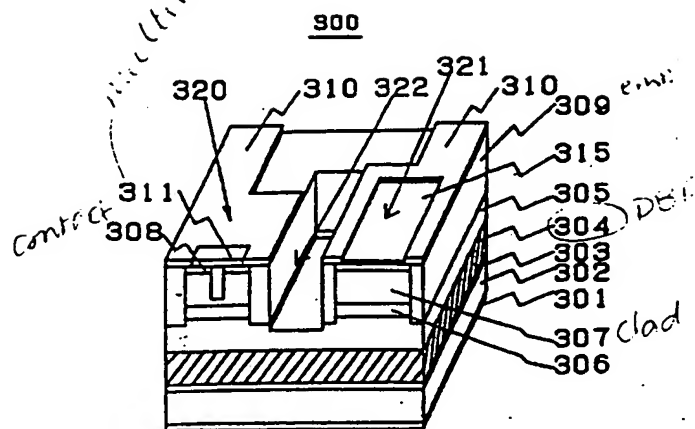


Figure 7

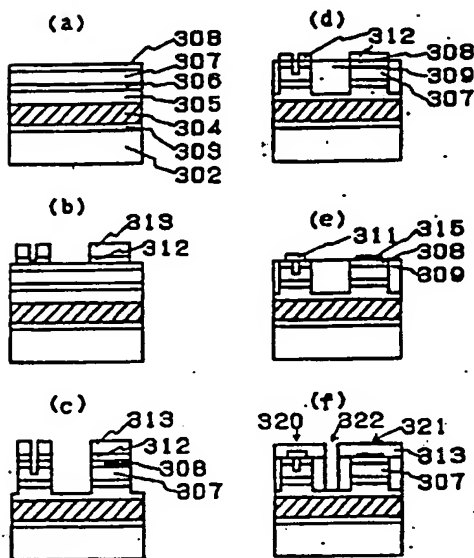


Figure 8

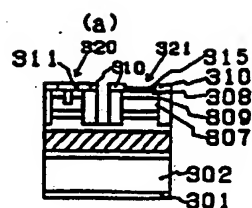


Figure 9

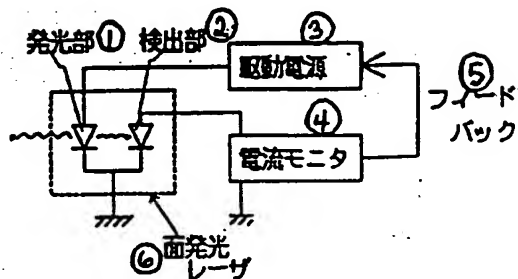


Figure 10

- Key: 1 Light-emitting part  
 2 Detecting part  
 3 Driving power supply  
 4 Current monitor  
 5 Feedback  
 6 Surface light-emitting laser

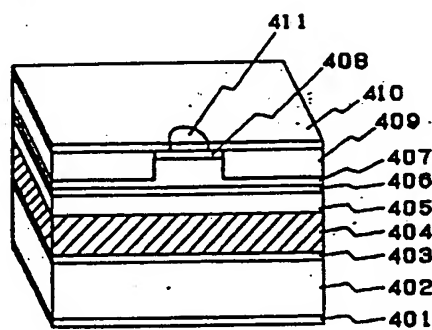


Figure 11